

**No title available.**

Patent Number: DE19750599  
Publication date: 1998-07-30  
Inventor(s): CLAUSSEN NILS PROF DR (DE); WAGNER FLORIAN DIPL ING (DE); JANSEN ROLF DR (DE)  
Applicant(s):: CLAUSSEN NILS (DE)  
Requested Patent: ☐ DE19750599  
Application Number: DE19971050599 19971114  
Priority Number(s): DE19971050599 19971114; DE19971000631 19970110; DE19971023929 19970606  
IPC Classification: C23C30/00 ; C04B41/88 ; C22C29/00 ; C22C29/12  
EC Classification: C22C1/10D, C04B41/50R, C04B41/51Q2, C23C28/00, F16C33/04C  
Equivalents: ☐ EP0951574 (WO9830725), ☐ WO9830725

---

**Abstract**

---

The invention concerns a cermet structural element comprising a tribological ceramic layer which is substantially made up of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and through which a metallic Al phase consisting predominantly of aluminides is drawn. The invention further concerns a method of producing a cermet tribological element in a single operation, wherein, in a pressure or pressure-casting device, liquid Al or Al alloy is pressed into a precursor which consists of or contains a ceramic matrix, has at least one tribological layer and contains at least one oxidic compound which can be reduced by Al as well as optionally further non-oxidic compounds or elements. The structural element is then optionally re-annealed until the aluminide and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> have formed.

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



①9 **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENTAMT**

⑫ **Off nlegungsschrift**  
⑩ **DE 197 50 599 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**C 23 C 30/00**  
C 04 B 41/88  
C 22 C 29/00  
C 22 C 29/12

②1 Aktenzeichen: 197 50 599.6  
②2 Anmeldetag: 14. 11. 97  
④3 Offenlegungstag: 30. 7. 98

**DE 197 50 599 A 1**

⑥6 Innere Priorität:

197 00 631. 0 10. 01. 97  
197 23 929. 3 06. 06. 97

⑦1 Anmelder:

Claussen, Nils, Prof. Dr., 21224 Rosengarten, DE

⑦4 Vertreter:

H. Weickmann und Kollegen, 81679 München

⑦2 Erfinder:

Claussen, Nils, Prof. Dr., 21224 Rosengarten, DE;  
Janßen, Rolf, Dr., 21075 Hamburg, DE; Wagner,  
Florian, Dipl.-Ing., 20535 Hamburg, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑤4 Metall-keramisches Konstruktionselement - sein Aufbau und seine Herstellung

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Metall-keramisches Konstruktionselement, umfassend eine im wesentlichen aus  $Al_2O_3$  aufgebaute tribologische Keramikschicht, welche von einer überwiegend aus Aluminiden bestehenden metallischen Al-Phase durchzogen wird. Des weiteren ein Verfahren zur Herstellung eines Metall-keramischen tribologischen Elements in einem einzigen Vorgang, bei dem in einer Druck- oder Preßgußvorrichtung in einen aus einer keramischen Matrix bestehenden oder diese enthaltenden Precursor, der mindestens eine tribologische Schicht aufweist und mindestens eine von Al reduzierbare oxidische Verbindung und gegebenenfalls weitere nicht oxidische Verbindungen oder Elemente enthält, flüssiges Al oder Al-Legierung eingepreßt und gegebenenfalls nachgeglüht wird, bis die Bildung von Aluminid und  $Al_2O_3$  stattgefunden hat.

**DE 197 50 599 A 1**

Oberflächlich besonders belastete Konstruktionsteile sind im allgemeinen Teile, deren Oberflächen mechanisch gegeneinander bewegt werden, z. B. Lager, Dichtungen und Bremsen- oder Teile, deren Oberflächen besonderen Temperatur- oder Korrosionsbelastungen ausgesetzt sind. In vielen Anwendungen werden Stahl oder für Hochleistungsanwendungen, wie Rennwagen, auch Kohlenstoff-faserverstärkte Kohlenstoffe verwendet. Als vorteilhafte Werkstoffe sind für diese Anwendungen Aluminium-infiltrierte SiC- und  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Werkstoffe (PRIMEX) sowie reaktionsgeformte  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Al-Komponenten (DIMOX) bekannt. Derartige Werkstoffe sind beschrieben in der DE 44 47 130 A1 und der darin zitierten Literatur sowie in der Anmeldung DE 196 05 858.

Derartige Materialien, die z. B. zum Einsatz bei tribologischen Konstruktionsteilen bestimmt sind, sollten leicht, korrosions- und oxidationsbeständig sowie verschleißfest sein und möglichst eine temperaturunabhängige Reibzahl besitzen. Insbesondere bei Hochleistungsbremsen ist eine hohe Temperaturbeständigkeit wichtig. Keiner der bekannten Metall-keramischen Werkstoffe genügt aber den steigenden Anforderungen, wie sie beispielsweise bei Bremsen von Hochgeschwindigkeitszügen oder im Flugzeugbau erwünscht wären.

Auch die verbesserten Werkstoffe PRIMEX und DIMOX weisen als entscheidenden Nachteil einen geringen Schmelzpunkt der Al-Phase ( $660^\circ\text{C}$ ) sowie eine starke tribo-mechanische Eigenschaftsveränderung bei Temperaturen  $> 300^\circ\text{C}$  auf, die bei längeren Bremsvorgängen schnell überschritten werden.

In der deutschen Patentanmeldung 1960858.9 ist ein reaktionsgeformter Werkstoff beschrieben, bei dem die tribo-mechanischen und tribochemischen Eigenschaften verbessert wurden, jedoch ist ein Einsatz als Hochleistungsbremsen-element aufgrund der geringen Bruchzähigkeit und Bruchfestigkeit des gesamten tragenden Teils problematisch. Dasselbe trifft zu für einen durch langsamen Reaktionspreßguß hergestellten Verbundwerkstoff, der in den japanischen Anmeldungen JP 06192757 und 08143990 A sowie in J. Mat. Sci. Let. 9 (1990), 23 beschrieben ist. Hier wurde Al in einem aus  $\text{TiO}_2$ -Whiskern bestehenden Vorkörper bei  $T > 800^\circ\text{C}$  infiltriert. Dabei entstand ein inhomogenes, von Rissen durchzogenes und nur teilweise reagiertes Gefüge, das auch nach einstündigem Glühen bei  $800^\circ\text{C}$  nicht umgesetzt (durchreagiert) werden konnte. Auch in diesem Fall dürfte ein Einsatz als Triboelement nicht möglich sein.

Aufgabe der Erfindung ist es deshalb, ein Metall-keramisches Konstruktionselement bereitzustellen, das die Nachteile der bekannten, besonders tribologisch beanspruchten, Metall-keramischen Konstruktionsteile nicht oder nur in wesentlich geringerem Maße aufweist.

Gelöst wird diese Aufgabe erfindungsgemäß durch ein Metall-keramisches Konstruktionselement, umfassend eine  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -haltige Oberflächenschicht (der hier gewählte Ausdruck "Oberflächenschicht" umfaßt nicht nur dünne planare Schichten, sondern Schichten jeglicher Geometrie, d. h. z. B. auch den inneren oder äußeren Bereich eines Hohlzylinders, mit Schichtdicken bis zu etwa 30 mm) und gegebenenfalls eine oder mehrere damit verbundene Übergangsschichten und gegebenenfalls einen damit verbundenen Träger, welches dadurch gekennzeichnet ist, daß die Oberflächenschicht von einer vorwiegend aus Aluminiden bestehenden Al-Phase durchzogen ist.

Die Nachteile, die bei den bekannten Metall-keramischen Konstruktionselementen vorhanden sind, werden dadurch beseitigt, daß das erfindungsgemäße Konstruktionselement

auf seiner Oberfläche im wesentlichen Aluminide beinhaltet. Aluminide sind intermetallische Al-Verbindungen. Es wurde überraschenderweise festgestellt, daß der Aufbau des erfindungsgemäßen Metall-keramischen Konstruktionselements zu hoher Temperaturbeständigkeit führt und das erfindungsgemäße Metall-keramische Konstruktionselement eine relativ temperaturunabhängige Reibzahl aufweist. Ein weiterer Vorteil ist sein geringes Gewicht sowie seine hohe Oxidationsstabilität.

Der Anteil des  $\text{Al}_2\text{O}_3$  in der Keramikschicht wird den jeweiligen Anforderungen an das Metall-keramische Konstruktionselement angepaßt. Vorzugsweise enthält die Keramikschicht 10 bis 90 Vol.-%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , besonders bevorzugt 30 bis 70 Vol.-%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Die metallische Al-Phase, die das Metall-keramische Konstruktionselement durchzieht, kann variieren. Vorzugsweise hat sie einen Anteil von 10 bis 90 Vol.-%, besonders bevorzugt 30 bis 70 Vol.-%. Das Al kann teilweise durch Mg ersetzt sein.

Die Dicke der Oberflächenschicht, die neben  $\text{Al}_2\text{O}_3$  eine im wesentlichen als Aluminid vorliegende metallische Al-Phase beinhaltet, kann je nach den Anforderungen unterschiedlich sein, vorzugsweise hat sie eine Dicke von 0,2 bis 30 mm. Besonders bevorzugt hat sie eine Dicke von 1 bis 15 mm. Die Oberflächenschicht kann neben  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und Aluminiden noch zusätzlich Al oder Al-Legierung enthalten; besonders dann, wenn eine erhöhte thermische und elektrische Leitfähigkeit gefordert wird.

In einer besonderen Ausführungsform kann das Metall-keramische Konstruktionselement in seiner Oberflächenschicht Verstärkungs- oder/und Funktionselemente in Form von Kugeln, Plättchen, Whiskern oder/und Fasern enthalten.

Der Anteil an Verstärkungs- oder/und Funktionselementen in dem Metall-keramischen Konstruktionselement richtet sich nach den gewünschten Materialeigenschaften, vorzugsweise beträgt er 5 bis 50 Vol.-%. Bevorzugt bestehen die Verstärkungs- oder/und Funktionselemente aus Oxiden, Carbiden Nitriden, Boriden oder/und Siliciden. In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform können Kohlenstoff, Diamant, SiC,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , TiC, WC oder/und  $\text{ZrO}_2$  verwendet werden.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform enthalten die Verstärkungs- oder/und Funktionselemente beschichtete oder unbeschichtete SiC, SiCB, SiCBN,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  oder/und Mullitfasern oder bestehen daraus.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform enthält das Konstruktionselement metallische Verstärkungselemente in Form von Drähten oder Rovings oder Drahtgeweben, -gestricken oder -wolle, die entweder nur die Oberflächenschicht oder auch Teile oder auch das ganze Bauteil durchziehen. Die metallischen Verstärkungselemente machen 5 bis 50 Vol.-% aus und können aus den folgenden Metallen oder ihren Legierungen oder intermetallischen Verbindungen bestehen: Al, Cu, Cr, Fe, Ni, Co, Si, Ti, Nd, Hf, Mo, V, N, Zr. Diese bevorzugt aus Stahl bestehenden Verstärkungselemente werden beim Druckguß (die pressure casting) nicht oder nur unwesentlich oberflächlich angelöst (was die Haftung zur  $\text{Al}_2\text{O}_3$ /Aluminid-Phase nur verbessern kann), so daß sie nicht nur in der Lage sind, die grüne (unge-sinterte) Vorform zu stabilisieren, sondern auch nach der Reaktionsinfiltration den Körper bzw. die Oberflächenschicht entscheidend bruchzäher zu machen. Bei kurzen Druckgußzeiten können sogar Aluminiumdrähte, besonders hochfeste Al-Legierungsdrähte, im Teil erhalten bleiben und wesentlich zur Verstärkung beitragen. Beim konventionellen Preßguß (squeeze casting) oder bei der Gasdruckinfiltration, die längere Infiltrationsdauern bei Temperaturen über dem Al-Schmelzpunkt bedeuten, werden die Drähte ganz oder teilweise aufgelöst. Eine weitere Möglichkeit, der rea-

gierten Oberflächenschicht mehr Bruchzähigkeit zu verleihen und eventuell besser mit dem Träger zu verbinden, besteht darin, daß der grüne Precursor (z. B. durch Thermolyse) entfernbare faserförmiges Material, wie etwa eine ausbrennbare oder ausdampfbare Filz- oder Gewebeeinlage, beispielsweise aus Textil oder Kunststoff enthält, das bei der Vorsinterung des Precursors verschwindet und ein entsprechendes offenes Kanalsystem (die Negativform der Einlage) hinterläßt, welches bei der späteren Druckinfiltration mit Al oder Al-Legierung gefüllt wird.

Die Bestandteile des Metall-keramischen Konstruktionselements sind entweder gleichmäßig in der Schicht verteilt, oder das Metall-keramische Konstruktionselement ist gradiert aus Schichten aufgebaut. Insbesondere kann ein Gradient im Volumanteil von  $Al_2O_3$  oder/und der Aluminide zu vorteilhaften Materialeigenschaften des Metall-keramischen Konstruktionselements führen und beispielsweise ein Ausgleichen von unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten ermöglichen.

Die metallische Phase, die die Oberflächenschicht durchzieht, umfaßt im wesentlichen ein oder mehrere Aluminide und gegebenenfalls Aluminium bzw. Al-Legierung. In einer bevorzugten Ausführungsform kann das Aluminid eine Verbindung aus Al und wenigstens einem der Metalle Fe, Ni, Nb, Zr, Ti, Co, Mo, W, V oder eine Mischung solcher Aluminide sein.

Das Metall-keramische Konstruktionselement besteht normalerweise aus mindestens einer Schicht. Es kann aber auch aus mehreren unterschiedlichen Schichten aufgebaut sein.

In einer weiteren Ausführungsform ist das Metall-keramische Konstruktionselement mit einer oder mehreren weiteren Schichten verbunden. Diese weiteren Schichten können aus unterschiedlichen Materialien aufgebaut sein, vorzugsweise sind sie aus  $Al_2O_3$  und Al sowie Aluminiden aufgebaut. Sie erleichtern den thermomechanisch verträglichen Übergang zum Trägerelement, das die mechanische Verbindung zum Gerät, Maschine, Scheibenbremsstopf, Bremsstrommel, Fahrzeug etc. bildet. Das Trägerelement besteht bevorzugt aus Al oder Al-Legierung und hat neben der thermomechanischen Verbindungsfunktion auch die Aufgabe, das Metall-keramische Konstruktionselement zu verstärken, indem es es beispielsweise umspannt (siehe dazu Ausführungstypen III und IV).

Für den Fall, daß der grüne Vorkörper ein metallisches Stützgewebe oder Verstärkungselemente enthält, wird die Oberflächenschicht und gegebenenfalls auch die weiteren Schichten und der Träger von einer zusätzlichen metallischen Phase durchzogen.

Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zur Herstellung des oben beschriebenen Metall-keramischen Konstruktionselements in einem einzigen Herstellungsvorgang [Preßguß (squeeze casting) oder Druckguß (die pressure casting)], welches dadurch gekennzeichnet ist, daß man in einer Gußvorrichtung in einen Precursor, der mindestens eine Schicht aufweist und mindestens eine von Al reduzierbare oxidische Verbindung und gegebenenfalls weitere nicht oxidische Verbindungen oder Elemente und gegebenenfalls metallische Verstärkungen enthält, flüssiges Al oder Al-Legierung einpreßt, so daß die Bildung von Aluminid und  $Al_2O_3$  stattfindet.

Der Precursor kann durch verschiedene keramische Formgebungsprozesse, wie Tape-Casting, Direct Coagulation Casting, Gel Casting, Slip Casting oder Trockenpressen, in Matrizen hergestellt werden. Danach kann er entweder im Grünzustand oder in vorgesinterter Form in der Druck-, Preß- oder Gasdruckform mit Al- oder Al-Legierung infiltriert werden. Wenn ein grüner Precursor verwen-

det wird, ist es vorteilhaft, die Stabilität (besonders für Druckguß mit hohen Infiltrationsgeschwindigkeiten) entweder durch Zugabe von metallischen Partikeln (z. B. Al oder Aluminid-bildende Metalle) oder organischen (gegebenenfalls aushärtenden) Bindemitteln zu erhöhen. Besonders günstig ist es, metallische Verstärkungselemente etwa in Form von Drähten oder Rovings oder Drahtgeweben, -gestricken oder Drahtwolle oder anderen drahtartigen Gebilden in den Grünkörper einzubauen, was sowohl durch Einrütteln oder -pressen der trockenen keramischen Pulver als auch durch Schlickerinfiltration oder Schlickerpressen erfolgen kann. Auch ist es möglich, das Precursor-Keramikpulver durch eine ein- oder mehrseitig offene oder auch perforierte Stützform aus Metall zu stabilisieren, beispielsweise geschieht dies durch Einpressen des Keramikpulvers in eine solche Form, die anschließend ohne Vorsinterung in die Druckgußform eingesetzt wird. Diese Stützform besteht bevorzugt aus Al der Al-Legierung, kann aber auch aus Stahl oder anderen Metallen bestehen. Im Falle einer Al-Form kann bei langsamer Druckinfiltration eine Auflösung der Form erfolgen. Dies ist jedoch nicht nachteilig, da auch das Trägerelement aus Al besteht. Soll ein Metall-keramisches Konstruktionselement mit einer Graduierung hergestellt werden, so liegt bereits in dem Precursor ein Gradient vor. Beispielsweise kann ein Gradient im Volumanteil des reaktionsfähigen Metalloxids und  $Al_2O_3$  vorliegen, so daß man nach der Reaktionsinfiltration einen Gradienten mit Keramik und unterschiedlichen Anteilen an Aluminid erhält. Um einen wie oben beschriebenen Schichtaufbau zu erhalten, können mehrere als Lamina hergestellte Grünschnitten unterschiedlicher Zusammensetzung aufeinander gelegt werden. Der erhaltene Körper wird ebenfalls mit metallischen Verstärkungselementen oder mit organischen Bindern verfestigt und gegebenenfalls bei Temperaturen zwischen 900°C und 1200°C gesintert. Wenn der poröse Vorkörper nur Oxide enthält, ist eine Sinterung an Luft sinnvoll und bevorzugt. Dadurch werden die Schichten miteinander verbunden. Es ist aber auch möglich, die grünen Schichten in die Gußvorrichtung einzubringen und die Verbindung der Schichten durch den Infiltrationsvorgang mit Al oder Al-Legierungen zu erreichen.

Der Preßgußvorgang kann nach in der Technik gebräuchlichen Methoden, wie etwa Druckguß, Preßguß oder Gasdruckinfiltration durchgeführt werden. Auch eine drucklose Reaktionsinfiltration ist möglich, wenn die notwendigen Benetzungsvoraussetzungen geschaffen sind. Allerdings wird der Druckguß (die pressure casting) das geeignetste Verfahren darstellen.

Die von Al reduzierbaren oxidischen Stoffe enthalten mindestens eine Verbindung aus der Gruppe  $CaO$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $CuO$ ,  $Cu_2O$ ,  $CoO$ ,  $Co_2O_3$ ,  $FeO$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Fe_3O_4$ ,  $HfO_2$ ,  $Li_2O$ ,  $MnO$ ,  $MgO$ ,  $MoO_3$ ,  $Na_2O$ ,  $Nb_2O_5$ ,  $Nb_2O_3$ ,  $NiO$ ,  $SiO_2$ ,  $TiO$ ,  $TiO_2$ ,  $V_2O_5$ ,  $WO_3$ ,  $Y_2O_3$ ,  $ZrO_2$ , Mullite, Spinelle, Zirkonate, Titanate sowie Fe-, Ti-, Co-, Ni-, Zr-, Si-, Nb-haltige Erze, insbesondere Zirkon ( $ZrSiO_4$ ) oder Ilmenit ( $FeTiO_3$ ). Die reduzierbaren Metalloxide können auch teilweise durch die entsprechenden Metalle (und gegebenenfalls zusätzliches  $Al_2O_3$ ) ersetzt werden, wenn die exotherme Reaktionswärme reduziert werden soll. Allerdings können bei Verwendung von weniger exotherm reagierenden Substanzen, wie z. B.  $TiO_2$  oder  $Nb_2O_5$ , auch, hier als Beschleuniger bezeichnete, exotherm stärker aktive Oxide, wie  $FeO$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Fe_3O_4$ ,  $NiO$ ,  $MoO_3$ , etc. zugesetzt werden, um eine möglichst vollständige Reaktion zu erzielen. Besonders wenn ein  $TiO_2$ -haltiger Vorkörper wenig vorgeheizt und mit niedrigen Al-Temperaturen (weniger als 750°C) reaktionsinfiltriert wird, ist eine Zugabe von ca. 10 bis 50 Vol.-%  $Fe_2O_3$  zweckmäßig.

Der in dem erfindungsgemäßen Verfahren verwendete Precursor kann bei Raumtemperatur in das Verfahren eingesetzt werden, vorzugsweise wird er vorgeheizt, zweckmäßig auf 200°C bis 700°C. Das in dem erfindungsgemäßen Verfahren verwendete Al oder die Al-Legierung wird je nach den Anforderungen bei unterschiedlichen Temperaturen oberhalb ihrer Schmelztemperatur in den Precursor eingepreßt, vorzugsweise bei einer Temperatur von 700°C bis 1200°C, besonders bevorzugt bei 700°C bis 900°C.

Der in dem erfindungsgemäßen Verfahren verwendete Druck wird an die anderen Verfahrensbedingungen angepaßt. Vorzugsweise wird das Al oder die Al-Legierung mit einem Druck von 1 bis 200 MPa eingepreßt. Allerdings kann der Precursor auch ohne äußeren Druck infiltriert werden, wenn das flüssige Al oder Al-Legierung den Precursor so gut benetzt, daß die Infiltrationsgeschwindigkeit größer als die Reaktionsgeschwindigkeit ist.

Der Einpreßvorgang kann zeitlich unbegrenzt stattfinden, vorzugsweise wird das Al oder die Al-Legierung in 1 Sekunde bis 20 Minuten beim Preßguß und meist in weniger als 1 Sekunde (bevorzugt 1/1000 Sekunde bis 1 Sekunde) beim Druckguß in den Precursor eingepreßt. Falls die gewünschte Reaktion nicht in ausreichendem Umfang beim Druckgußvorgang stattgefunden hat, kann das Konstruktionselement auch bis zur völligen Umsetzung (Reaktion) nachgeglüht werden. Bevorzugt wird die Glühbehandlung in inerte Atmosphäre, im Vakuum oder in der Luft zwischen 10 min und 24 h durchgeführt. Wesentlich ist, daß die Reaktion des Al mit der oder den reduzierbaren oxidischen Verbindungen im gewünschten Umfang bei der angewendeten Temperatur ablaufen kann und gegebenenfalls ein metallisches Stützgewebe nur unwesentlich beschädigt wird.

Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein durch das oben beschriebene Verfahren erhältliches Konstruktionselement.

Ein nochmals weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Bauteil, welches ein wie vorstehend beschriebenes Konstruktionselement umfaßt. Wie für den Fachmann offensichtlich ist, ist es für die Erfindung nicht wesentlich, daß sich das Konstruktionselement durch das gesamte Bauteil hindurchzieht, sondern es ist möglich, das Konstruktionselement gezielt in denjenigen Bereichen einzusetzen, die bei der vorgesehenen Verwendung hohen Belastungen ausgesetzt sind.

Außer für tribologische Anwendungen eignet sich der Aufbau und die Werkstoffkombination des beschriebenen Konstruktionselements für andere Anwendungen, bei denen Oberflächen besonderen Temperatur- und Korrosionsbeanspruchungen ausgesetzt sind, bei denen Al nicht mehr fest oder stabil ist oder bei denen die thermische Ausdehnung von Al zu hoch ist.

Unterschiedliche Anwendungen des erfindungsgemäßen Metall-keramischen Konstruktionselements sind beispielsweise Bremsen, Lager, Führungselemente, Gleitschienen, Schleifkontakte etc., aber auch Heizelemente oder Kolbenböden, Zylinderlaufflächen, Zylinderköpfe, Nocken auf Nockenhebeln oder -wellen im Motorenbau.

Die Erfindung wird durch die Beispiele und die Figuren weiter erläutert.

In Fig. 1 sind vier Typen von Ausführungsbeispielen beschrieben, Fig. 2 zeigt einen porösen Precursor A und Fig. 3 eine Preßgußvorrichtung mit eingebrachtem porösem Precursor A.

#### Figurenbeschreibung

Fig. 1

Typ I: Dieser Typ des Metall-keramischen tribologischen

Elements besteht aus zwei Schichten  $a_1$  und  $c_1$ . Schicht  $c_1$  besteht aus 50 Vol.-%  $Al_2O_3$  und 50 Vol.-% Aluminium. Schicht  $a_1$  besteht aus 60 Vol.-%  $Al_2O_3$  und 40 Vol.-%  $FeAl_3$  (Aluminid).

5 Typ II: Die Schichten  $c_1$ ,  $b_1$  und  $a_1$  sind mit dem Träger aus 100% Aluminium (100 Al) verbunden. Schicht  $c_1$  besteht aus 50 Vol.-%  $Al_2O_3$  und 50 Vol.-% Aluminium, Schicht  $b_1$  besteht aus 50 Vol.-%  $Al_2O_3$ , 20 Vol.-% Aluminium und 30 Vol.-%  $FeAl_3$  (Aluminid), Schicht  $a_1$  besteht aus 65 Vol.-%  $Al_2O_3$  und 35 Vol.-%  $FeAl_3$  (Aluminid).

10 Typ III: In diesem Metall-keramischen tribologischen Element sind die Schichten  $a_1$  und  $b_1$  von dem Träger, der aus 100% Aluminium (100 Al) besteht, eingefast. Schicht  $b_1$  besteht aus 55 Vol.-%  $Al_2O_3$ , 20 Vol.-% Aluminium und 25 Vol.-%  $NbAl_3$  (Aluminid). Schicht  $a_1$  besteht aus 65 Vol.-%  $Al_2O_3$  und 35 Vol.-%  $NbAl_3$  (Aluminid).

15 Typ IV: In diesem Typ ist die Schicht  $c_1$ , die aus 45 Vol.-%  $Al_2O_3$  und 55 Vol.-% Aluminium besteht, an beiden Seiten mit der Schicht  $a_1$  verbunden, die jeweils aus 65 Vol.-%  $Al_2O_3$  und 35 Vol.-%  $TiAl_3$  (Aluminid) besteht. Diese beiden Schichten sind von einem Träger aus 100% Aluminium (100 Al) eingefast.

Fig. 2 und 3:

A: poröser, überwiegend keramischer Precursor

25 B: Aluminium oder Al-Legierung

C: poröse Unterlage zur Luftaufnahme (z. B. aus nicht infiltrierbarem RBAO, optimal)

$C_1$ : nicht benetzbare poröse Schicht (optimal)

D: Unterstempel

30 E: Oberstempel

F: Preßform (zylindrisch, rechteckig, etc.)

$a_{01}, a_{02} \dots a_{0i}$ : poröse (20 bis 60%) Keramischicht aus  $Al_2O_3$  und MeO, das vollständig zum Aluminid +  $Al_2O_3$  reagiert und den Porenraum ausfüllt

35  $b_{01}, b_{02} \dots b_{0i}$ : poröse Keramischicht aus  $Al_2O_3$  und MeO (MeO: reaktionsfähiges Metalloxid) und zusätzlichem Freiraum für Aluminium

$c_{01}, c_{02} \dots c_{0i}$ : poröse Keramischicht ( $Al_2O_3$ )

$a_1, a_2 \dots a_i$ : Keramik + Aluminid (Keramik: hier  $Al_2O_3$ )

40  $b_1, b_2 \dots b_i$ : Keramik +  $Al_2O_3$  + Aluminid + Al

$c_1, c_2 \dots c_i$ : Keramik + Aluminium (Keramik: hier  $Al_2O_3$ )

d: Dicke der Al-Deckplatte (optimal)

g: Dicke der äußeren Ummantelung aus Aluminium (optimal)

45 ho: Höhe des porösen Precursors

h: Höhe des Triboelements

w: Durchmesser bzw. Seitenlänge des Triboelements.

Fig. 4 Ringförmige Scheiben, wie in Beispiel 1 beschrieben

50 Fig. 5 Preßgußvorrichtung mit zwei Ringscheiben und Abstandshaltern aus Al in Schnitansicht

Fig. 6 Druckgußvorrichtung mit zylinderförmigen Precursorproben im Schnitt

Fig. 7 Photographie des gemäß Beispiel 5 hergestellten Pleuels, unbehandelt bzw. einseitig geschliffen

Fig. 8 Gefügebild des Materials des Pleuels von Fig. 7.

#### Beispiele

60 Ausführungsbeispiele für Al-infiltrierte Konstruktionselemente

Die Ausführungsbeispiele der Fig. 1 zeigen scheibenförmige, hauptsächlich für tribologische Anwendungen geeignete Konstruktionselemente. Die Durchmesser können zwischen 1 und 100 cm betragen. Mit  $a_1$  ist immer die belastete Oberflächenschicht bezeichnet und mit  $b, c$  etc. die Übergangsschichten zum Träger.

## Beispiele für die Herstellung eines Metall-keramischen Konstruktionselements

Ein poröser, überwiegend aus Keramik bestehender Precursor (A) wird in einer Preßgußdruckkammer (F) mit einem Innendurchmesser von 70 mm auf einen Unterstempel (D) aufgesetzt, wobei ein poröser Zwischenkörper (C), beispielsweise aus feinporigem (Porendurchmesser  $< 1 \mu\text{m}$ ) reaktionsgebundenem  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (RBAO) zur Luftaufnahme aus dem Precursor dazwischengelegt werden kann. Der Zwischenkörper (C) sollte von flüssigem Aluminium nicht infiltriert werden. Bei grobporigen Zwischenkörpern könnte eine nicht benetzbare poröse Schicht  $C_1$  auf C aufgebracht werden. Anschließend wird flüssiges Al (B) über den Precursor (A) gegossen und mit dem Oberstempel (E) bei einem Druck von 50 MPa und einer Temperatur von  $800^\circ\text{C}$  in 2 Minuten in die Poren gedrückt. Während in den  $c_0$ -Schichten ( $c_{01}$ - $c_{0i}$ ) die Keramik ohne Reaktion mit Al-infiltriert wird, werden die Schichten  $b_0$  ( $b_{01}$ - $b_{0i}$ ) und  $a_0$  ( $a_{01}$ - $a_{0i}$ ) so mit Al infiltriert, daß in  $b_0$  das vorhandene reaktive Metalloxid (MeO) mit Al zu  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und dem entsprechenden Aluminid (MeAl) reagiert, aber noch unreaktiertes Al übrigbleibt. In  $a_0$  ist der gesamte Porenraum durch das refraktäre Aluminid-Reaktionsprodukt ausgefüllt. Die Indices 01, 02 . . . 0i deuten an, daß entsprechend gradierte Schichten aufgebaut werden, wobei von der Al-Seite (Schicht c oberer Teil des Precursors) der Al-Gehalt abnimmt, in b und a der Aluminid-Gehalt bis zum nominalen Aluminiumgehalt im Oberflächenbereich der Schicht zunimmt.

Nach Abschluß des Preßgußvorgangs wird das erhaltene Metall-keramische Konstruktionselement aus der Anlage entnommen. Es sollte fast ohne Nacharbeitung einsatzfähig sein.

## Beispiel 1

200 g einer Pulvermischung aus 50 Vol.-%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (MFA 4, Ceralox Condea) und 50 Vol.-%  $\text{TiO}_2$  (Riedel de-Ha'n, Seelze) wurden 1 h in  $\text{H}_2\text{O}$  in einem Attritor mit 3Y-TZP-Mahlkugeln gemahlen. Aus dem Schlicker wurden ringförmige Scheiben (siehe Fig. 4) mit einem Innendurchmesser von 67 mm und einem Außendurchmesser von 120 mm und einer Höhe von 8 mm in Gipsformen gegossen und nach dem Trocknen an Luft bei  $1250^\circ\text{C}$  20 min. gesintert. Danach betrug die offene Porosität 45%. Diese auf  $400^\circ\text{C}$  vorgeheizten Precursoren wurden in einer Preßgußform mit einem Druck von 20 MPa und bei einer Temperatur von  $750^\circ\text{C}$  mit reinem Al (99,999%) entsprechend Fig. 4 ca. 1 min. infiltriert. Danach enthielt das Konstruktionselement ca. 45 Vol.-%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , ca. 25 Vol.-% ( $\text{TiAl}_3 + \text{Al}$ ) und ca. 30 Vol.-%  $\text{TiO}_2$ . Nach einer Glühung bei  $630^\circ\text{C}$  im Vakuum für 10 h war kein  $\text{TiO}_2$  mehr feststellbar. Dafür hatten sich die  $\text{TiAl}_3$  Röntgenpeaks stark vergrößert.

## Beispiel 2

Eine Pulvermischung wie in Beispiel 1 wurde getrocknet und anschließend einachsrig zu ringförmigen Scheiben mit Außen-/Innendurchmesser von 60/35 mm und einer Höhe von 5 mm mit 40 MPa gepreßt und bei  $1250^\circ\text{C}$  an Luft 10 min.-vorgesintert. Danach betrug die Dichte 57% TD. Zwei auf  $600^\circ\text{C}$  vorgeheizte Ringscheiben wurden anschließend in der Preßgußvorrichtung (Fig. 5) mit Abstandshaltern aus Al platziert und bei einem Druck von 50 MPa und einer Temperatur von  $800^\circ\text{C}$  ca. 1 min. druckinfiltriert (s.a. Fig. 5). Das  $\text{TiO}_2$  war danach in einem großen Teil zu einem i-3A-Material umgesetzt.

## Beispiel 3

In gleicher Weise wie in Beispiel 1 wurden Precursormischungen zusätzlich mit einem  $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ -Volumenverhältnis von 70/30 und 30/70 sowie aus reinem  $\text{TiO}_2$  hergestellt und nach dem Trocknen zu Zylindern mit 20 mm Durchmesser und Höhen zwischen 2 und 20 mm einachsrig mit 50 MPa gepreßt und bei Temperaturen zwischen  $1100^\circ\text{C}$  und  $1300^\circ\text{C}$  vorgesintert. Die Dichten der Precursoren betrugen danach zwischen 54 und 70% TD wobei keine geschlossene Porosität festzustellen war. Jeweils 5 bis 6 auf  $400^\circ\text{C}$  vorgeheizte Proben wurden mit 1 mm Stahldraht in der Vorrichtung aus Beispiel 2 (s.a. Fig. 6) platziert und bei Temperaturen zwischen 700 und  $800^\circ\text{C}$  mit 50 MPa druckinfiltriert. Danach waren die meisten Proben vollständig infiltriert. Proben mit einem  $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ -Verhältnis von 30/70 enthielten außen  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  und  $\text{TiAl}_3$  zusätzlich Al, während solche mit einem  $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ -Verhältnis von 70/30 zusätzlich  $\text{TiAl}$  enthielten. Die reine  $\text{TiO}_2$ -Probe war ebenfalls teilweise zu  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und  $\text{TiAl}_3$  reagiert, allerdings war sie von vielen Rissen durchzogen, wobei die ursprünglichen Abmessungen des Zylinders stark zugenommen hatten. Die Dimensionsänderung der anderen Proben betrug jeweils  $< 1\%$ . Eine 6-stündige Glühung bei  $630^\circ\text{C}$  im Vakuum führte zum Verschwinden der restlichen  $\text{TiO}_2$ -Röntgenreflexe.

## Beispiel 4

Gleiche Versuchsserien wie in Beispiel 3 wurden auch mit  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$  sowie  $\text{Nb}_2\text{O}_5\text{-Al}_2\text{O}_3$ -Precursormischungen durchgeführt, wobei allerdings die Höhe der Zylinder mit 5 mm sowie die Vorsintertemperatur auf  $1250^\circ\text{C}$  (20 min.) konstant gehalten wurde. Die Ergebnisse zeigten, daß  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  nahezu völlig zu  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{FeAl}_3$  (+ Al) umgesetzt wurde, während  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  nur unvollständig mit Al reagierte.

Daraus ist abzuleiten, das entweder  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  als Beschleuniger zugesetzt oder aber nachgeglüht werden muß.

## Beispiel 5

Pulvermischungen aus 70 Vol.-%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Gilox) und 30 Vol.-%  $\text{TiO}_2$  wurden wie in Beispiel 1 attritiert, getrocknet und isostatisch zu Hohlzylindern mit Innen-/Außendurchmessern 17/26 mm und Höhen zwischen 15 und 20 mm bei 100 MPa gepreßt und bei  $1250^\circ\text{C}$  20 min. an Luft gesintert. Danach betrug die Dichte 57% TD. Diese Precursoren wurden auf  $950^\circ\text{C}$  vorgeheizt und danach in einer  $20^\circ\text{C}$  warmen Pleuel-Druckgußform im Bereich des Pleuellagers platziert. Anschließend wurde die Form seitlich mit Anschnittgeschwindigkeiten von 27 bis 38 m/s mit einem Druck von 140 MPa (Metalldruck am Kolben) bei  $750^\circ\text{C}$  mit einer Si-haltigen Al-Legierung innerhalb von weniger als 1 s gefüllt (Die angenommene Infiltrationszeit dürfte dabei ca. 1/10 s betragen, wobei die Schmelztemperatur auf unter  $700^\circ\text{C}$  abgesunken sein dürfte). Danach enthielt der Hohlzylinder im Lagerbereich [siehe Fig. 7, Foto des Pleuels vor (rechts) und nach (links) einer einseitigen Schleifbehandlung] ca. 40 Vol.-%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , ca. 40 Vol.-% ( $\text{TiAl}_3 + \text{Al}$ ) und ca. 20 Vol.-%  $\text{TiO}_2$ . Siehe auch Gefügebild in Fig. 8. Dunkel:  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und  $\text{TiO}_2$ , grau:  $\text{TiAl}_3$ , hell: Al.

## Beispiel 6

40 Vol.-%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Gilox) und 60 Vol.-% Ilmenit ( $\text{TiFeO}_3$ , CSIRO Clayton, Australien) wurden 10 min in Wasser wie in Beispiel 1 gemischt und getrocknet. Anschließend wurde das Pulver wie in Beispiel 5 zu einem 15 mm hohen Zylinder

der mit Innen/Außendurchmesser von 17/26 mm isostatisch bei 600 Mpa gepreßt, wobei sich im Zentrum ein doppel-  
lagiges Stahldrahtgewebe bestehend aus einem Gewebe mit  
einem Drahtdurchmesser von 0,063 mm und einer Mas-  
chenweite von 0,1 mm gestützt von einem größeren Draht-  
gewebe mit Durchmesser von 0,56 mm und Maschenweite  
von 2 mm (Gekuplate 150 mesh/10 mesh, Fa. GKD, Düren)  
befand. Danach wurde wie in Beispiel 5 verfahren. Das  
Drahtgewebe war anschließend fast völlig erhalten, selbst  
der 0,063 mm Draht war nur oberflächlich von Al angelöst.  
Der Drahtkörper, der ca. 20 Vol.-% des Zylinders aus-  
machte, war von ca. 55 Vol.-% ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  + Restilmenit) und  
ca. 40 Vol.-% Al und bisher noch nicht identifizierter FeTi-  
Aluminidphasen umgeben. Allerdings waren Al-gefüllte  
Risse in dem Teil des Zylinders zu erkennen, in dem kein  
Drahtgewebe vorhanden war. Offensichtlich war der Grün-  
körper beim Druckgußvorgang zum Teil zerstört worden.

#### Beispiel 7

Wie in Beispiel 6 wurde ein dreischichtiges Stahldrahtge-  
webe (Durchmesser 0,1 mm, Maschenweite 0,16 mm, Fa.  
GKD, Düren) in einen Grünkörper aus 30 Vol.-%  $\text{TiO}_2$ , 15  
Vol.-%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  und 55 Vol.-%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (1 Stunde in Wasser attri-  
tiert) isostatisch eingebracht. Dieser so verstärkte Grün-  
körper wurde 1 Stunde bei 1150°C vorgesintert und an-  
schließend wie in Beispiel 5 druckinfiltriert. Das Drahtge-  
webe war danach fast völlig erhalten und der gesamte i-3A-  
Körper (Lager des Pleuels) war ohne Risse.

#### Beispiel 8

Feines ( $\sim 1 \mu\text{m}$ )  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ -Pulver (Johnson Matthey, Karls-  
ruhe, 1 h in Wasser mit TZP-Kugeln attritiert) wurde mit ei-  
nem Stahlstempel 43 mm im Durchmesser in einen oben of-  
fenen Al-Topf mit 1 mm Wandstärke und einem Außendurch-  
messer von 45 mm und einer Höhe von 5 mm eingepreßt,  
so daß die Gründichte ca. 55 25% TD betrug. Der so ge-  
füllte Topf wurde in einen  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Tiegel mit 60 mm Innendurch-  
messer gestellt und anschließend mit reinem Al bei 800°C  
10 min mit einem Argon-Druck von 12 MPa druckinfiltriert.  
Danach entstand ein zylinderförmiges Al-Element, das im  
Zentrum eine 43 mm breite und 4 mm dicke Oberflächenschicht  
aus ca. 45 Vol.-%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und ca. 55 Vol.-%  $\text{NbAl}_3$  enthielt.  
D.h. die Precursorform hatte mit Hilfe des stabilisierenden  
Al-Topfs den Preßvorgang ohne Formänderung überstanden.

#### Patentansprüche

1. Metall-keramisches Konstruktionselement, umfas-  
send eine  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -haltige Oberflächenschicht und gege-  
benenfalls eine oder mehrere damit verbundene Über-  
gangsschichten und gegebenenfalls einen damit ver-  
bundenen Träger, **dadurch gekennzeichnet**, daß die  
Oberflächenschicht von einer vorwiegend aus Alumi-  
niden bestehenden Al-Phase durchzogen ist.
2. Metall-keramisches Konstruktionselement nach  
Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberflächenschicht  
10 bis 90 Vol.-%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  enthält.
3. Metall-keramisches Konstruktionselement nach  
Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die  
Al-Phase einen Anteil von 10 bis 90 Vol.-% ausmacht.
4. Metall-keramisches Konstruktionselement nach ei-  
nem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß die Dicke der Oberflächenschicht 0,2 bis  
20 mm beträgt.
5. Metall-keramisches Konstruktionselement nach ei-

nem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß die Oberflächenschicht Verstärkungs-  
oder/und Funktionselemente enthält.

6. Metall-keramisches Konstruktionselement nach ei-  
nem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß die Oberflächenschicht Partikel, Kugeln,  
Plättchen, Whisker oder/und Fasern enthält.

7. Metall-keramisches Konstruktionselement nach  
Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß der  
Anteil an Verstärkungs- oder/und Funktionselementen  
5 bis 50 Vol.-% beträgt.

8. Metall-keramisches Konstruktionselement nach ei-  
nem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet,  
daß die Verstärkungs- oder/und Funktionselemente aus  
Oxiden, Carbiden, Nitriden, Boriden oder/und Silici-  
den bestehen.

9. Metall-keramisches Konstruktionselement nach ei-  
nem der Ansprüche 5 bis 8, dadurch gekennzeichnet,  
daß die Verstärkungs- oder/und Funktionselemente aus  
beschichteten oder unbeschichteten SiC-, SiCB-,  
SiCBN-,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - oder/und Mullitfasern beste-  
hen.

10. Metall-keramisches Konstruktionselement nach  
einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß die Oberflächenschicht metallische  
Verstärkungselemente enthält.

11. Metall-keramisches Konstruktionselement nach  
Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die metalli-  
schen Verstärkungselemente zwischen 5 und 60 Vol.-%  
ausmachen.

12. Metall-keramisches Konstruktionselement nach  
Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß die  
metallischen Verstärkungselemente aus folgenden Me-  
tallen oder ihren Legierungen oder ihren intermetalli-  
schen Verbindungen bestehen: Al, Cu, Cr, Fe, Ni, Co,  
Si, Ti, Nb, Hf, Mo, V, W, Zr.

13. Metall-keramisches Konstruktionselement nach  
Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die metalli-  
schen Verstärkungselemente aus gegebenenfalls aus-  
härtbarem Stahl bestehen.

14. Metall-keramisches Konstruktionselement nach  
Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die metalli-  
schen Verstärkungselemente aus Aluminium oder  
hochfester Al-Legierung bestehen.

15. Metall-keramisches Konstruktionselement nach  
einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß die Bestandteile des Metall-kerami-  
schen Konstruktionselements einen Gradienten auf-  
weisen.

16. Metall-keramisches Konstruktionselement nach  
einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß die metallische Al-Phase im wesent-  
lichen ein oder mehrere Aluminide und Aluminium  
oder Al-Legierung umfaßt.

17. Metall-keramisches Konstruktionselement nach  
einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß es eine oder mehrere Übergangs-  
schichten aufweist.

18. Metall-keramisches Konstruktionselement nach  
Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Ober-  
flächenschicht mit einer oder mehreren Übergangs-  
schichten verbunden ist.

19. Metall-keramisches Konstruktionselement nach  
Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Über-  
gangsschichten aus  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und Al sowie Aluminiden  
aufgebaut sind.

20. Metall-keramisches Konstruktionselement nach  
einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch ge-



kennzeichnet, daß die Oberflächenschicht mit einem Träger verbunden ist.

21. Metall-keramisches Konstruktionselement nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß der Träger aus Aluminium oder einer Al-Legierung besteht.

22. Metall-keramisches Konstruktionselement nach Anspruch 20 oder 21, dadurch gekennzeichnet, daß der Träger metallische Verstärkungselemente enthält.

23. Verfahren zur Herstellung eines metall-keramischen Konstruktionselements nach einem der Ansprüche 1 bis 22 in einem einzigen Vorgang, dadurch gekennzeichnet, daß man in einer Druck- oder Preßguß-Vorrichtung in einen offenzelligen keramischen Vorkörper (Precursor), der die poröse Vorform mindestens der Oberflächenschicht aufweist und mindestens eine von Al reduzierbare oxidische Verbindung mit auf den dichten Werkstoff bezogenen Volumenanteilen von 10 bis 100% und  $Al_2O_3$  mit 0 bis 90% sowie gegebenenfalls weitere nichtoxidische Verbindungen oder Elemente sowie gegebenenfalls metallische Verstärkungselemente enthält, flüssiges Al oder Al-Legierung einpreßt und die Reaktion zwischen Al und dem Metalloxid in das entsprechende Aluminid und  $Al_2O_3$  bewirkt.

24. Verfahren nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß die von Al reduzierbare oxidische Verbindung mindestens eine Verbindung aus der Gruppe  $Cr_2O_3$ , CuO,  $Cu_2O$ , CoO,  $Co_2O_3$ , FeO,  $Fe_2O_3$ ,  $Fe_3O_4$ ,  $HfO_2$ ,  $Li_2O$ , MnO, MgO,  $MoO_3$ ,  $Na_2O$ ,  $Nb_2O_5$ ,  $Nb_2O_3$ , NiO,  $SiO_2$ , TiO,  $TiO_2$ ,  $V_2O_5$ ,  $WO_3$ ,  $Y_2O_3$ ,  $ZrO_2$ , Mullite, Spinelle, Zirkonate, Titanate sowie Fe-, Ti-, Co-, Ni-, Zr-, Si-, Nb-haltige Erze, insbesondere Zirkon ( $ZrSiO_4$ ) oder Ilmenit ( $FeTiO_3$ ) enthält.

25. Verfahren nach Anspruch 23 oder 24, dadurch gekennzeichnet, daß die oxidische Verbindung Beschleuniger in Form eines exotherm stärker aktiven Oxids, ausgewählt aus FeO,  $Fe_2O_3$ ,  $Fe_3O_4$ , NiO oder  $MoO_3$  oder Gemischen derselben, enthält.

26. Verfahren nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Beschleuniger 10 bis 50 Vol.-% bezogen auf die von Al reduzierbare oxidische Verbindung ausmachen.

27. Verfahren nach Anspruch 23 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß der Precursor auf 200°C bis 700°C vorgeheizt wird.

28. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß das Al oder die Al-Legierung bei einer Temperatur von 600°C bis 1200°C eingepreßt wird.

29. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 28, dadurch gekennzeichnet, daß das Al oder die Al-Legierung mit einem Druck von 1 bis 200 MPa eingepreßt wird.

30. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 29, dadurch gekennzeichnet, daß das Al oder die Al-Legierung in weniger als 20 Minuten eingepreßt wird.

31. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 30, dadurch gekennzeichnet, daß das Konstruktionselement nachgeglüht wird.

32. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 31, dadurch gekennzeichnet, daß man den keramischen Vorkörper, der zu 20 bis 55% offene Poren mit Durchmesser zwischen 0,1 und 10 µm enthält, nach konventionellen keramischen Verfahren formt.

33. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 32, dadurch gekennzeichnet, daß man den keramischen Vorkörper durch eine mindestens teilweise offene metallische Stützform stabilisiert.

34. Verfahren nach einem der Ansprüche 32 und 33, dadurch gekennzeichnet, daß man den Vorkörper bildet durch Formen eines Gemisches von Keramikpulver und einem faserförmigen Material und Entfernen des faserförmigen Materials vor der Infiltration mit Al oder Al-Legierung.

35. Verfahren nach Anspruch 34, dadurch gekennzeichnet, daß das faserförmige Material durch Thermolyse entfernt wird.

36. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 35, dadurch gekennzeichnet, daß man den keramischen Vorkörper bei Temperaturen zwischen 900°C und 1300°C sintert.

37. Verfahren nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorformen der Übergangsschichten weniger Metalloxid und mehr  $Al_2O_3$  enthalten als die Oberflächenvorform, wobei die mit dem Träger zu verbindende Übergangsschicht nur noch  $Al_2O_3$  enthält.

38. Konstruktionselement, erhältlich durch ein Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 37.

39. Bauteil, umfassend ein Konstruktionselement nach einem der Ansprüche 1 bis 23 und 38.

40. Verwendung eines Konstruktionselements nach einem der Ansprüche 1 bis 23 und 38 oder eines Bauteils nach Anspruch 39 im Maschinen-, Motoren- und Apparatebau.

41. Verwendung eines Konstruktionselements nach einem der Ansprüche 1 bis 23 und 38 oder eines Bauteils nach Anspruch 39 in Bremsen, insbesondere Scheibenbremsen, Lagern, Führungselementen, Gleitschienen, Schleifkontakten, Heizelementen oder Kolbenböden, Zylinderlaufflächen, Zylinderköpfen, Nocken auf Nockenhebeln oder -wellen im Motorenbau.

---

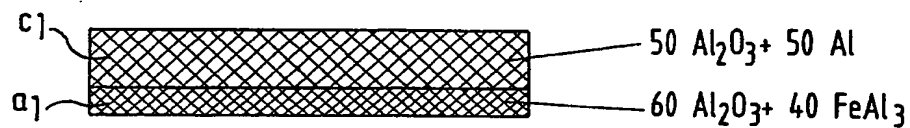
Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---

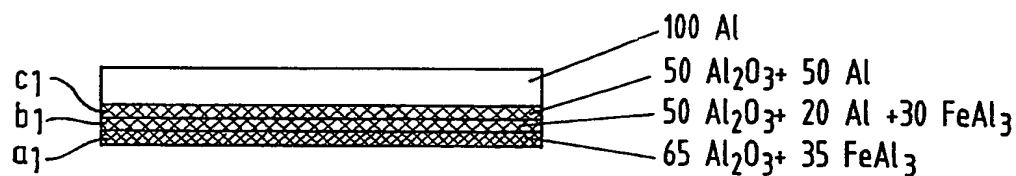
- Leerseite -

Fig. 1

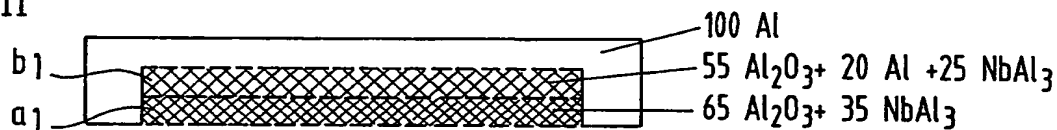
Typ I



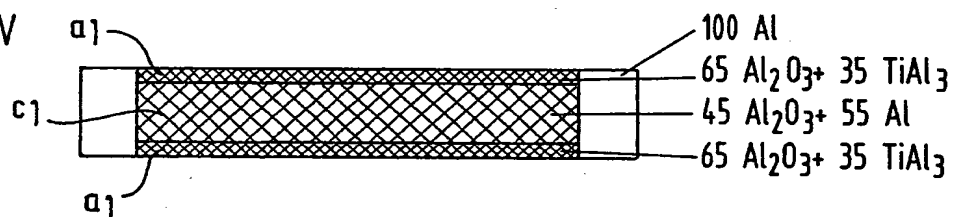
Typ II



Typ III

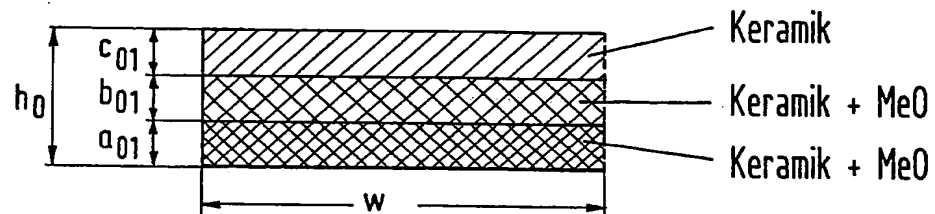


Typ IV



## Fig.2 und 3

### Poröser Precursor A



### Pressgussvorrichtung

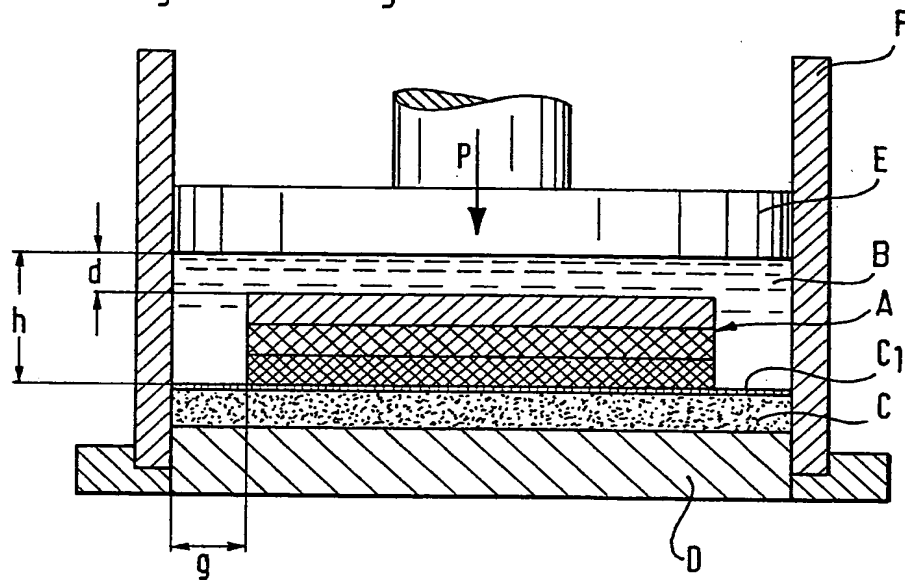


Fig. 4

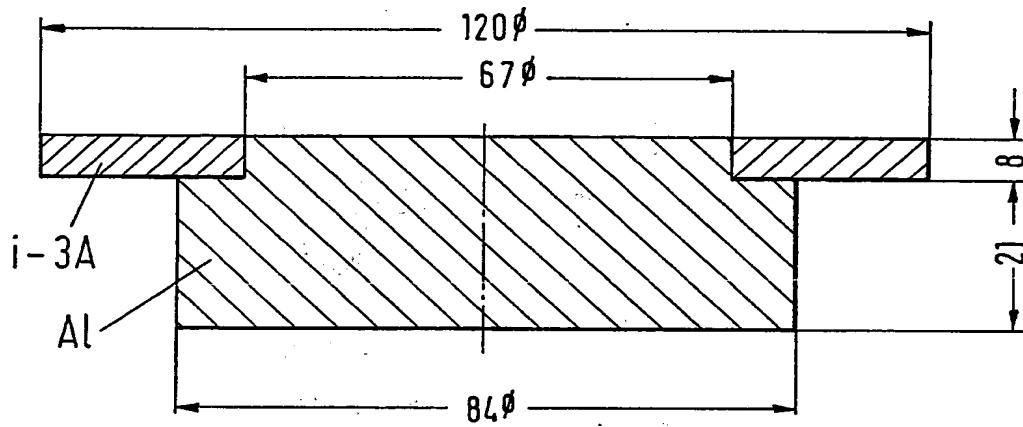


Fig. 5

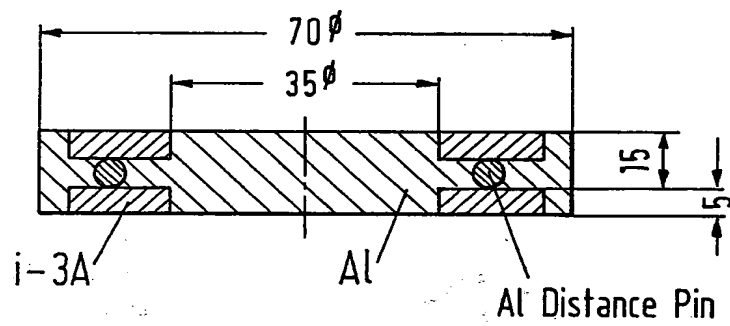


Fig. 6

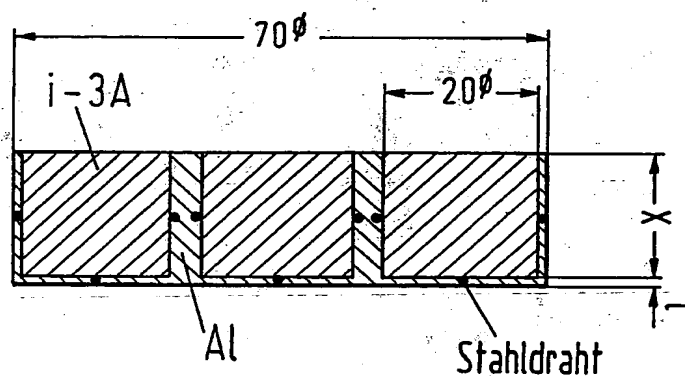


Fig. 7

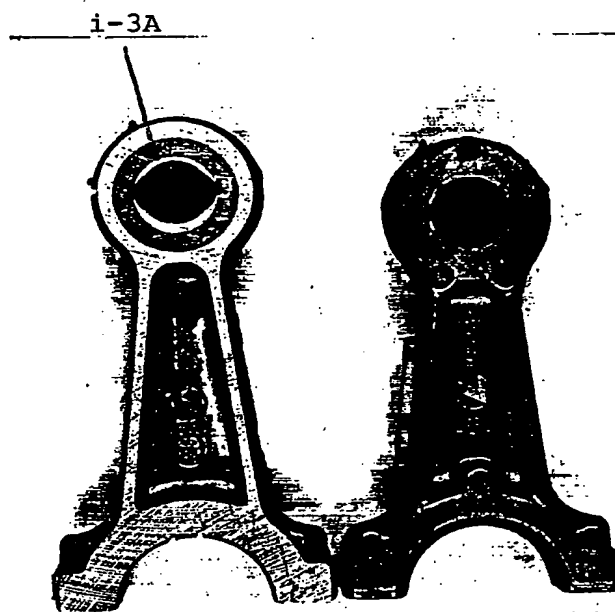


Fig. 8

